

# Anforderungen von Leitbranchen der deutschen Industrie an Variantenmanagement und Wiederverwendung und daraus resultierende Forschungsfragestellungen\*

Martin Große-Rhode<sup>1</sup>, Peter Manhart<sup>2</sup>, Ralf Mauersberger<sup>3</sup>,  
Sebastian Schröck<sup>4</sup>, Michael Schulze<sup>5</sup>, Thorsten Weyer<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Fraunhofer FOKUS  
Steinplatz 2  
10623 Berlin  
martin.grosse-rhode@  
fokus.fraunhofer.de

<sup>2</sup>Daimler AG  
Wilhelm-Runge-Straße 11  
89081 Ulm  
peter.manhart@  
daimler.com

<sup>3</sup>EADS Innovation Works  
81663 München  
ralf.mauersberger@  
eads.net

<sup>4</sup>Helmut-Schmidt-Universität  
Holstenhofweg 85  
22043 Hamburg  
sebastian.schroeck@  
hsu.hh.de

<sup>5</sup>pure-systems GmbH  
Agnetenstr. 14  
39106 Magdeburg  
michael.schulze@  
pure-systems.com

<sup>6</sup>Universität Duisburg-Essen  
Gerlingstraße 16  
45127 Essen  
thorsten.weyer@  
paluno.uni-due.de

**Abstract:** Im Rahmen des bereits abgeschlossenen BMBF-Projektes SPES 2020 wurden mit dem SPES 2020 Modeling Framework verschiedene integrierte Konzepte, Techniken und Methoden zum durchgängigen Engineering von softwareintensiven eingebetteten Systemen entwickelt. Die aus Sicht der Industrie äußerst relevante Fragestellung nach einer möglichst bruchfreien Unterstützung des durchgängigen Variantenmanagements und der Wiederverwendung wurde dabei bewusst nicht betrachtet. Im Rahmen des Nachfolgeprojektes SPES\_XT soll nun der SPES 2020 Modeling Framework um die Unterstützung für ein durchgängiges Variantenmanagement und der Wiederverwendung erweitert werden. Im vorliegenden Beitrag werden hierzu die systematisch erarbeiteten Anforderungen der Branchen Automatisierungstechnik, Automotive und Avionik vorgestellt. Auf Grundlage der Anforderungen werden dann zentrale Forschungsfragestellungen skizziert.

## 1. Motivation

Produkte aus den Branchen Avionik, Automatisierung und Automotive sind gekennzeichnet durch eine enorme Anzahl verschiedenster Bestandteile wie mechanische Komponenten, Aktuatorik, Sensorik, Kabel, Leitungen, etc. und sogenannten Embedded Systems, bestehend aus Hardware und Software. Die Entwicklung solcher komplexen Gesamtsysteme ist eine höchst anspruchsvolle Aufgabe im Engineering, zumal der Umfang der Systeme stetig zunimmt und dieser Trend sich eher verstärkt denn abschwächt. Ferner erbringen oft nicht einzelne Systeme sondern Systemverbünde eine Aufgabe in Kooperation und deren korrektes Zusammenwirken stellt ebenfalls eine vielschichtige und komplizierte Herausforderung dar. Der Ursprung neuer innovativer, für den Kunden

---

\* Dieser Beitrag wurde durch das BMBF im Projekt SPES 2020\_XT (Förderkennz: 01IS12005) gefördert.

erlebbarer, Funktionen liegt oft im Bereich der Embedded Systems, die somit maßgebend für den Fortschritt und zukünftige Marktchancen verantwortlich sind.

Neben der Komplexität aufgrund der herausfordernden Aufgabenstellung wird diese weiterhin durch regulatorische Vorschriften unterschiedlicher anvisierter Märkte als auch durch kundenspezifische Wünsche erhöht. Jene Anforderungen bedeuten Variabilität sowohl in der Hardware als auch in der Software. Als immanente Eigenschaft der Embedded Systems erschwert diese Variabilität als zusätzlicher Freiheitsgrad also die Entwicklung. Die Beherrschung der gesamten Entwicklung und sämtlicher Freiheitsgrade ist daher entscheidend im Wettbewerb mit Blick auf die Time-to-Market, die Qualität, die Kostenstrukturen und damit den Erfolg des Unternehmens am Markt. Unzulänglichkeiten während der Entwicklung führen teils zu finanziellen Schäden, Imageverlusten oder gar zu Gefahren für die körperliche Unversehrtheit von Menschen.

Die Komplexität der Embedded Systems, hervorgerufen durch die eigentlich zu lösende Aufgabenstellung, lässt sich prinzipienbedingt nicht minimieren sondern nur mit einem „teile und herrsche“ Ansatz begegnen, der die Gesamtaufgabe in kleinere handhabbarere Teilaufgaben zerlegt. Den Herausforderungen der Variabilität und den wettbewerbsrelevanten Faktoren marktgerechte Kosten, hohe Produktqualität und kurze Time to Market kann dagegen mit geeigneten Mitteln wie dem Variantenmanagement auf der einen Seite und der methodischen und systematischen Wiederverwendung auf der anderen begegnet werden. In Kombination beider Mittel kann deren Potential vollumfänglich genutzt und Mitnahmeeffekte, wie Aufwands- und Kostenreduktion sowie Qualitätssteigerungen über unterschiedliche Varianten hinweg, erzielt werden. Solche Synergieeffekte werden in der heutigen Praxis jedoch bei weitem noch nicht ausgeschöpft.

In Abschnitt 2 werden die wesentlichen branchenspezifischen Anforderungen vorgestellt. Anschließend werden in Abschnitt 3 diese Anforderungen analysiert. In Abschnitt 4 werden dann die zugehörigen Forschungsfragestellungen des durchgängigen Variantenmanagements und der systematischen Wiederverwendung erläutert.

## **2. Anforderungen aus den Leitbranchen**

Im Rahmen der Anforderungserhebung wurden zunächst 60 Use Cases dokumentiert. Daraus wurden 137 Anforderungen abgeleitet und klassifiziert. In den folgenden drei Abschnitten werden wesentliche Anforderungen der Branche zusammengefasst. Dem folgt jeweils die Darstellung eines zentralen Use Case.

### **2.1 Anforderungen aus Branche „Automatisierungstechnik“**

In der Domäne Automatisierungstechnik wird in SPES\_XT das Engineering automatisierter Anlagen betrachtet. Folglich unterscheidet sich diese Domäne von den anderen betrachteten Branchen vor allem im Hinblick auf das *System-under-Development*, das Geschäftsmodell sowie die zu spezifischen Randbedingungen. Eine automatisierte Anlage wird i.d.R. nur einmal kundenspezifisch projektiert und errichtet, sodass die Kosten des Engineerings nicht auf große Stückzahlen umgelegt werden können. Des Weiteren sind am Engineering eine Vielzahl von Gewerken beteiligt, weshalb hier im Besonderen die Wirkbeziehungen zwischen den interdisziplinären Artefakten zu berücksichtigen sind, um eine systematische Wiederverwendung zu etablieren [AAF03].

Die Use-Cases und die daraus abgeleiteten Anforderungen decken das gesamte Engineering ab und lassen sich in phasenübergreifende und phasenspezifische Use-Cases unterteilen. Als zentraler Use-Case ist hier die *Wiederverwendung gewerkeübergreifender Artefakte unter Berücksichtigung aller Wirkbeziehungen und Restriktionen* herauszustellen. Hierbei soll nicht nur die Software wiederverwendet werden, sondern auch Artefakte vorgelagerter Gewerke. Tabelle 1 zeigt den Ablauf dieses Soll-Use-Cases.

Schritt	Akteur	Ablauf
1	Verfahrenstechnik / Prozessleittechnik	<i>Auffinden des Artefaktes:</i> Ein für die Wiederverwendung vorgesehenes gewerkeübergreifendes Artefakt wird anhand der Anforderungen aufgefunden und für die Wiederverwendung herangezogen. Beispielfhaft sei hier ein Anlagenteil. Die Auswahl geschieht in einer frühen Phase, in der das Verfahren und nicht etwaige Software adressiert wird.
2	Verfahrenstechnik / Prozessleittechnik	<i>Identifikation verbundener Artefakte anderer Gewerke:</i> Das exemplarische Modell einer Teilanlage ist evtl. untergliedert in weitere Artefakte, die z.B. Mechanik, Steuerungshardware und Leistungselektronik repräsentieren. Hier müssen alle Wirkbeziehungen zwischen Gewerken und entsprechenden Softwarefragmenten berücksichtigt werden.
3	Automatisierungstechnik	<i>Wiederverwendung gewerkeübergreifender Artefakte:</i> Gemäß den Anforderungen im Projekt, werden Artefakte wiederverwendet oder individuell ergänzt. Dies gilt gerade auch für die Automatisierungssoftware, welche nun in ein vorgegebenes Umfeld aus Mechanik und Elektronik eingepasst werden muss. Eine geeignete und durchgängige Softwareunterstützung ist hierfür unerlässlich.

Tabelle 1: Soll-Szenario des UC „Wiederverwendung eines gewerkeübergreifenden Artefakts“

Die Herausforderung, die der angeführte Use-Case in allgemeiner Form beschreibt, ist, dass die Entwicklung der Automatisierungssoftware für eine nahezu vollständig ausgeplante Anlage zu geschehen hat. Diese Aufgabe findet folglich in einem Spannungsfeld aus Zeit- und Kostendruck, erheblichen Anforderungen bezüglich der Effizienz und Qualität, aber vor allem auch unter der Einschränkung der bereits definierten Anlage statt. Hier ist es unerlässlich geeignete Konzepte zu schaffen und die Softwaretools dahingehend weiterzuentwickeln, dass diese wiederverwendungsorientiertes Engineering unterstützen. Die Herausforderung hierbei ist es die inhaltliche Durchgängigkeit über die verschiedenen Gewerke und Phasen zu gewährleisten. Um dieser Heterogenität zu begegnen sind optimierte und angepasste Methoden für das Engineering nötig.

## 2.2 Anforderungen aus der Branche „Automotive“

Die Anforderungen der Branche „Automotive“ konzentrieren sich auf die Herausforderungen des durchgängigen Variantenmanagements. Wir verstehen unter durchgängigem Variantenmanagement die konsistente und vollständige Erfassung von Variationspunkten in allen Entwicklungsartefakten (Anforderungsdokumente, Funktionsmodelle, Sicherheitsanalysen, Testbeschreibungen, Parameterkonfigurationen, usw.) und deren Abbildung in ein integrierendes Varianten- und Konfigurationsmodell. Die entsprechenden Anforderungen lassen sich in die Kategorien (1) Reengineering bestehender Varianten, (2) Produktlinienentwicklung und (3) Sonstige Anforderungen einteilen. Im Rahmen des Reengineering wird eine Menge von Realisierungen zu einer Produktlinie zusammengeführt. Diese Struktur wird dann im Rahmen der Produktlinienentwicklung kontinuierlich weiterentwickelt. Sonstige Anforderungen, wie z.B. Konformität mit Standards wie ISO 26262 oder AUTOSAR, wurden in Kategorie (3) eingeordnet.

Der aus Sicht der Domäne Automotive zentrale Use-Case bei durchgängigem Variantenmanagement ist *die konsistente Umsetzung eines Änderungsantrages im Laufe der*

*Produktevolution.* Im Verlauf der Bearbeitung wird für mehrere Artefakte zunächst das eigentliche Artefakt und dann dessen Konfigurationsmodell aktualisiert. Diese Kette wird in dem folgenden Soll-Use-Case abgekürzt dargestellt (vgl. Tabelle 2, Tabelle 3):

Schritt	Akteur	Ablauf:
1	Antragsteller	Beschreibt einen neuen Change-Request inklusive der Systemausprägungen (Varianten aus Systemsicht/Kunde: Ausstattungslinie, Motor, Baureihe)
2	Projektverantwortlicher	Analysiert den neuen CR und ermittelt die Merkmale, welche die Systemausprägungen charakterisieren, Ermittelt die Releases in denen der CR zu tragen kommt
3	Requirements Engineer	Passt das Lastenheft an indem er eine neue Ausprägung hinzufügt oder einen neuen Variationspunkt erstellt.
4	Variantenmodellierer	Aktualisiert das Konfigurationsmodell des Lastenhefts
5+6	Testentwickle + Variantenmodellierer	Aktualisiert die Testspezifikation und deren Konfigurationsmodell.
7+8	Funktionsmodellierer +Variantenmodellierer	Aktualisiert die Implementierung und dessen Konfigurationsmodell
9+10	Testteam + Variantenmodellierer	Aktualisiert die Modultests und deren Konfigurationsmodell
11+12	Softwareintegrator	Passt Integrationsregeln an und ggf. den Build-Prozess an
13+14	Testteam + Variantenmodellierer	Aktualisiert die HIL- und Systemtests und deren Konfigurationsmodell
15+16	Applikateur + Variantenmodellierer	Kalibrierung der geänderten Funktion und erstellt ggf. neue Datensätze und deren Konf.Mod.
17	Antragsteller	Abnahme der Änderung für alle Varianten, in denen der CR umgesetzt wurde

Tabelle 2: Soll-Szenario des UC „Umsetzung eines Änderungsantrages in der Produktevolution“

Ausnahmen, Erweiterungen		
2.a	Projektverantwortlicher	Falls zusätzliche Merkmale nötig sind, wird der CR um entsprechende Hinweise ergänzt
2.b	Variantenmodellierer	Aktualisiert das Merkmalmodell inklusive der Beziehungen entsprechend des CR
3.a	Safety Engineer	Erstellt eine Sicherheitsanalyse (z.B. FTA oder FMEA) falls das hinzugefügte Merkmal sicherheitsrelevant ist bzw. wiederholt jene Analyse.
4.a/6.a/8.a/10.a /12.a/14.a/ 16.a	Variantenmodellierer	Unter Umständen muss das Merkmalmodell ebenfalls geändert werden

Tabelle 3: Ausnahmen und Erweiterungen des Soll-Szenarios im UC aus Tabelle 2

Dieser Umsetzung dieses Use-Case ist zweifelsohne anspruchsvoll, eine adäquate Umsetzung verspricht allerdings auch ein hohes Maß an Konsistenz von Variantenmodell und Entwicklungsartefakten in der evolutionären Entwicklung und eine wertvolle Grundlage für Traceability auf Basis gemeinsamer Merkmale von Artefakten. Darum wollen wird dieser Use-Case im Projekt SPES\_XT mit hoher Priorität bearbeiten.

### 2.3 Anforderungen aus Branche „Avionik“

Konventionelle Avioniksysteme in Luftfahrzeugen sind gekennzeichnet durch eine Vielzahl unabhängiger Teilsysteme, die ganz bestimmte Funktionalitäten wahrnehmen und

auch nur für diese konzipiert und zugelassen sind. Die Software solcher proprietären *Federated Systems* ist hierbei sehr stark abhängig von der zugrundeliegenden Hardware, sodass bereits geringfügige funktionale Änderungen oder Erweiterungen des Systems zu erheblichen Anpassungs- und damit Re-Zertifizierungsaufwendungen führen. Daher werden seit einigen Jahren Anstrengungen unternommen, diese Eigenschaften im Rahmen einer *Integrierten Modularen Avionik (IMA)* zu verbessern. Die Flexibilität verteilter Systemarchitekturen soll auch im Bereich der Avionik zum Tragen kommen. Ähnlich einem Rechnernetzwerk werden daher Rechnermodule unter Verwendung einer standardisierten Software-Architektur und eines Echtzeit-Betriebssystems miteinander vernetzt, sodass Funktionen modulübergreifend gestartet und betrieben werden können.

Um systematische Wiederverwendung bei der Entwicklung von IMA-Systemen zu berücksichtigen, ist die Granularität der Wiederverwendung entscheidend. Eine Granularität unterhalb der Echtzeit-Prozess-/Thread-Ebene gilt als kompliziert, sodass kaum Vorteile zu erwarten sind. Die Wiederverwendung zielt daher auf diese Ebene, wobei eine Funktionalität mehrere Threads (sog. Building Blocks) umfassen kann.

Der aus Sicht der Domäne Avionik zentrale Use-Case für durchgängiges Variantenmanagement und systematische Wiederverwendung ist die *konsistente Assemblierung eines IMA-Systems aus wiederverwendbaren Building Blocks* nach den oben dargestellten Kriterien. Tabelle 4 zeigt den Ablauf des Soll-Use-Cases.

Schritt	Akteur	Ablauf:
1	<i>Requirements Engineer</i>	Spezifiziert funktionale IMA Requirements
2	<i>Requirements Engineer</i>	Spezifiziert nicht-funktionale IMA Requirements, wie z.B. Ausfallwahrscheinlichkeiten, Performanz
3	<i>Systems Engineer</i>	Definiert Architektur des IMA Systems. Trennung von Hardware und Software. Basierend auf initialer Architektur werden Ausfallwahrscheinlichkeiten abgeschätzt
4	<i>Software Engineer</i>	Simuliert Modell des IMA Systems auf logischer Ebene
5	<i>Software Engineer</i>	Simuliert Modell des IMA Systems auf Kommunikations-Ebene
6	<i>Software Engineer</i>	Definiert IMA System. Definiert wiederverwendbare Building Blocks. Legt alle Parameter des Schedulers fest
7	<i>Software Engineer</i>	Implementierung und Assemblierung des IMA Systems
8	<i>Test Engineer</i>	Testen der Pfadabdeckung, Testen der Requirements, Testen der nicht-funktionalen Requirements
9	<i>Safety Engineer</i>	Nachweis der Req.-Traceability in beide Richtungen. Nachweis der Abhängigkeiten. Anfertigen Fehlerbäume, FMEA Analyse
10	<i>Airworthiness Authorities</i>	Zertifizierung des IMA Systems

Tabelle 4: Soll-Szenario des UC „konsistente Assemblierung eines IMA-Systems“

Wiederverwendbare Entwicklungsartefakte für IMA müssen die in obigem Use Case beschriebenen Eigenschaften erfüllen. Natürlich sollte dabei eine Assemblierung der Building Blocks die Architektur des Systems nicht grundlegend verschlechtern. Der Safety-Aspekt sollte durch systematische Wiederverwendung gestärkt werden. Keinesfalls darf ein System dadurch unsicherer werden. Die entsprechenden Nachweisverfahren sind weiterhin zu erbringen. Ferner sollte Wiederverwendung im Kontext von IMA

Kosten und Zeit sparen. Hierzu sind die benötigten Techniken und Werkzeuge zu realisieren und zu definieren, wie jene im Engineering zu platzieren sind.

### **3. Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Anforderungen**

Vergleicht man die Anforderungen aus den drei Branchen, so fallen zunächst die Unterschiede auf. Automatisierungstechnik und Avionik stellen Anforderungen in Bezug auf die Wiederverwendung, aus der Automobilbranche kommen Anforderungen an das Variantenmanagement. Der jeweils andere Aufgabenbereich wird durch die hier getroffene Auswahl der wichtigsten und dringlichsten Anforderungen ausgeschlossen.

#### **3.1 Unterschiede**

Im Hinblick auf das Produktangebot ist die explizite Unterscheidung von Variantenmanagement und Wiederverwendung evident. In der Automobilindustrie müssen sehr viele, einander sehr ähnliche Produkte quasi gleichzeitig angeboten werden. Das gilt nicht nur für die Fahrzeughersteller, die – u.a. – Kundenwünsche nach individueller Konfiguration umgehend bedienen können müssen, sondern auch für Zulieferer, die mit vielen Herstellern zusammen arbeiten. In den Branchen Automatisierung und Avionik hingegen werden Entwicklungsprojekte beinahe produktspezifisch aufgesetzt, da die Systeme größer, die Stückzahlen geringer und die Entwicklungszyklen länger sind. Betrachtet man nicht nur die Avionik sondern die Flugzeugentwicklung, so findet man kundenspezifische Anforderungen, die ein gewisses Maß an Variantenmanagement nahelegen.

Mit der Unterscheidung von Volumenproduktion und Variantenmanagement auf der einen und Individualproduktion und Wiederverwendung auf der anderen Seite gehen offensichtlich – zumindest in den hier erfassten Anforderungen – auch unterschiedliche technische Entwicklungsstände bzw. Prozessreifegrade in Bezug auf die Themen Wiederverwendung und Variantenmanagement einher. Der Automotive-Anwendungsfall nimmt nicht nur sehr konkret Bezug auf differenzierte Prozessschritte und Rollen im Variantenmanagement. Die Verwendung von Begriffen wie Merkmals- und Konfigurationsmodell zeigt, dass hier bereits mit Werkzeugen gearbeitet wird, die auf eine modellbasierte Softwareentwicklung aufsetzen und diese um die Modellierung und Verwendung von Merkmalen erweitern. Aus dem Use Case und dessen Voraussetzungen können daher unmittelbar Anforderungen und Forschungsfragen abgeleitet werden.

Für die Anwendungsfälle aus den anderen beiden Branchen sind die Prozessschritte und Werkzeuge nicht ausdifferenziert. Neben der unterschiedlichen Struktur des Produktportfolios spielen technische Gegebenheiten, wie die verwendeten Programmiersprachen und das Zusammenspiel verschiedener Gewerke, rechtliche Randbedingungen und nicht zuletzt wirtschaftliche bzw. kulturelle Gegebenheiten der Branchen, eine Rolle. Vor dem Hintergrund der Erkenntnisse aus der Softwaretechnik zur Wiederverwendung ist hier also nach den Voraussetzungen zu fragen, die erfüllt sein müssen, um die in der Literatur beschriebenen Ansätze zur Wiederverwendung anwenden zu können.

#### **3.2 Voraussetzungen für die Wiederverwendung**

Die zentrale Frage des Anwendungsfalls aus der Automatisierungstechnik ist, wie bestehende Software effizient und sicher an geänderte Voraussetzungen – aus den anderen

Gewerken – angepasst werden kann. Das zielt zunächst auf die Dokumentation der Abhängigkeiten ab, die zwischen der bestehenden Software-Version und ihrem Umfeld (Hardware etc.) bestehen. Je besser diese bekannt und analysierbar sind, desto besser und effizienter kann der Änderungsbedarf in der Software benannt werden. Hierbei wird Bezug genommen auf die Automatisierungs-Software, die das Anlagenverhalten steuert.

Implizit wird durch den Anwendungsfall aber auch die Besonderheit der Software in der Automatisierungstechnik angesprochen: Da die Softwareentwicklung eine der letzten Tätigkeiten des Engineerings automatisierter Anlagen ist, sind die Randbedingungen der Software wenig flexibel. Unabhängigkeit von Entwicklungsprozess, Hardware, und Kommunikationsmitteln wird bisher nicht durch spezielle Techniken der Wiederverwendung erreicht. Der wesentliche Punkt hierbei ist zunächst die Modularisierung der Software. In der Automatisierungstechnik ist die Entwicklung der Software von Programmiersprachen wie denen der IEC 61131-3 geprägt, die keine Modularisierungskonzepte für eine architekturzentrierte Entwicklung anbieten.

Im Anwendungsfall der Avionik ist eine Architektur, die Plattform und Anwendung trennt, vorausgesetzt. Sie ermöglicht Wiederverwendung, stellt aber auch strenge Bedingungen an die Anwendungssoftware, die für diese Architektur entwickelt werden kann. Als Einheit der Wiederverwendung werden Prozesse oder Threads benannt, ohne auf einen inhaltlichen Kontext Bezug zu nehmen. Weitergehende Fragen zur systematischen Wiederverwendung müssen genau diesen Kontext adressieren.

Die bisherige Analyse der Anwendungsfälle und Anforderungen scheint darauf hinaus zu laufen, dass die Domänen einzeln behandelt werden müssen. Die Unterschiede sind groß, Gemeinsamkeiten waren kaum auszumachen. Auch eine Betrachtung aller Anwendungsfälle und Anforderungen, die im Projekt SPES-XT erhoben wurden, schwächt diesen Eindruck nicht wesentlich ab. Gemeinsamkeiten finden sich am ehesten bei Anforderungen, die gezielt abstrakt formuliert wurden, um ggf. übertragbar zu sein. Allerdings stellt sich bei diesen Anforderungen die Frage, inwiefern das Abstraktionsniveau noch hilfreich für die beabsichtigten Anwendungen bei den Industriepartnern ist. Die Identifikation von Gemeinsamkeiten liegt eher im Interesse der Forschungspartner, sowohl in der Grundlagen- als auch in der Anwendungsforschung. Selbst wenn ein unmittelbares Übertragen von Lösungen angesichts der Heterogenität der Branchen nicht sehr realistisch erscheint, wäre doch das Herausarbeiten von gemeinsamen Prinzipien langfristig hilfreich; für die Grundlagenforschung im Hinblick auf die Formulierung von Theorien und Modellen und für die Anwendungsforschung im Hinblick auf ein Beratungsangebot, das auf einer profunden und umfassenden Analyse beruht.

Implizite Gemeinsamkeiten wurden oben bereits genannt, in Form der Voraussetzungen, die für Variantenmanagement und / oder Wiederverwendung erfüllt sein müssen: modellbasierte architekturzentrierte Entwicklung, Modularität, technische Anschlussfähigkeit (d.h. geeignete Programmiertechnologien oder Generatoren). Auch eine gleichzeitige Betrachtung von Variantenmanagement und Wiederverwendung auf einer sehr abstrakten Ebene wird zumindest Ähnlichkeiten zeigen, zum Beispiel im Hinblick auf Kontext- und Architekturmodellierung, Modellverwaltung, die Integration von qualitätssichernden Maßnahmen und den Zusammenhang mit dem Life Cycle Management.

## 4. Forschungsfragestellungen

Wie in Abschnitt 3 gezeigt, besitzen die drei betrachteten Branchen in Bezug auf ein durchgängiges Variantenmanagement und Wiederverwendung teils sehr spezifische Anforderungen, die von Konzepten, Techniken und Methoden erfüllt werden müssen, um die einzelnen Use Cases unterstützen zu können. Wenngleich zwischen den Branchen eine teils hohe Heterogenität bzgl. der betrachteten Fragestellungen herrscht, besteht für sämtliche zu entwickelnden Ansätze die zentrale Forderung, dass diese sich bruchfrei in den bestehenden SPES 2020 Modeling Framework [Br+12] integrieren.

Sowohl für das Gebiet durchgängiges Variantenmanagement, welches in erster Linie von den Partnern innerhalb der Branche Automotive betrachtet wird, als auch für das Gebiet systematische Wiederverwendung, das im Projekt von Partnern der Branchen Automatisierungstechnik und Avionik betrachtet wird, gilt das die teilweise sehr unterschiedlichen Forschungsfragestellungen in grobe Kategorien unterteilt werden können.

### 4.1 Kategorie „Erweiterung der bestehenden SPES 2020 Modellierungstheorie“

In diese Kategorie fallen solche Forschungsfragestellungen, die sich darauf beziehen, wie die bestehende Modellierungstheorie des SPES 2020 Modeling Framework [Br+12] spezifisch um solche Konzepte erweitert werden kann, die den Umgang mit Varianten und wiederverwendbaren Artefakten im Entwicklungsprozess gestatten. Im Detail stellen sich u.a. die folgenden verfeinerten Forschungsfragen: (1) Welche neuen bzw. veränderten Konzepte und Traceability-Beziehungen sind notwendig um die Tätigkeiten in den einzelnen Use-Cases des durchgängigen Variantenmanagements von Seiten der Modellierung zu unterstützen? (2) Welche neuen bzw. veränderten Konzepte und Traceability-Beziehungen sind notwendig, um die Tätigkeiten in den einzelnen Use-Cases zur systematischen Wiederverwendung von Seiten der Modellierung zu unterstützen?

Im Rahmen der Ausarbeitung entsprechender Lösungen ist es notwendig die ontologische Basis eines oder mehrerer Viewpoints (vgl. [DTW12], [V+12], [EMV12], [W+12]) des SPES 2020 Modeling Frameworks konform zum IEEE Std. 1471 [IE00] bzw. dessen Nachfolger IEEE Std. 42010 [IE11] zu erweitern oder eine zusätzliche Modellierungsperspektive (z.B. Variabilität) zu definieren, die z.B. querschneidend zu den verschiedenen Viewpoints des SPES 2020 Modeling Frameworks stehen (vgl. z.B. [HK+12]). Im letzteren Falle muss für eine bruchfreie Integration der präzise semantische Bezug der Konzepte zur jeweiligen Ontologie der SPES 2020 Viewpoints definiert werden.

### 4.2 Kategorie „Methodik für Variantenmanagement und Wiederverwendung“

In diese Kategorie fallen solche Forschungsfragestellungen, die auf Basis der erweiterten Modellierungstheorie des SPES 2020 Modeling Frameworks darauf abzielen, eine methodische Anleitung zu erarbeiten, die die im Engineering-Prozess beteiligten Personen bei der Durchführung von Tätigkeiten innerhalb der betrachteten Use Cases unterstützen. Im Detail stellen sich u.a. die folgenden Forschungsfragestellungen: (1) Welche methodischen Schritte sind in welchen Situationen in den einzelnen Use Cases im Variantenmanagement und Wiederverwendung notwendig, um den jeweiligen Use Case erfolgreich zu Ende führen zu können. (2) Welche Auswirkungen haben spezifische Aspekte des Prozesskontexts auf die methodischen Schritte zur Abarbeitung eines Use Cases?

Im Rahmen der Lösungsausarbeitung ist es notwendig, für sämtliche Tätigkeiten in der Methodik einen präzisen Bezug zu der erweiterten Modellierungstheorie des SPES Modeling Frameworks herzustellen. Darüber hinaus sollten für alle Tätigkeiten Vorbedingungen (d.h. der Prozesskontext) definiert sein, die erfüllt sein müssen, um Tätigkeiten erfolgreich durchzuführen. Zu jeder Anleitung zur Durchführung von Tätigkeiten werden noch Techniken und Werkzeuge angegeben, die deren Durchführung unterstützen.

#### **4.3 Kategorie „Bewertungsverfahren für variable Entwicklungsartefakte“**

In diese Kategorie fallen solche Forschungsfragen, die auf die Bewertbarkeit von Entwicklungsartefakten abzielen, die im Rahmen des durchgängigen Variantenmanagement und der Wiederverwendung der einzelnen Use Cases betrachtet werden. Im Detail stellen sich u.a. die folgenden Fragestellungen: (1) Welche Verfahren müssen entwickelt werden, um innerhalb der Use Cases des durchgängigen Variantenmanagement die Qualität ggf. unterschiedlicher Variabilitätsmodelle oder des aus der Bindung von Variabilität hervorgehenden Systemmodelles bewerten zu können? (2) Welche Verfahren müssen entwickelt werden, um innerhalb der Use Cases zur Wiederverwendung Aussagen über Eigenschaften eines komponierten Systems treffen zu können? Dies gilt z.B. für Echtzeiteigenschaften bei der Assemblierung wiederverwendbarer Komponenten.

Im Rahmen der Ausarbeitung entsprechender Lösungen müssen die Verfahren dabei einen präzisen Bezug zu den Artefakten des erweiterten SPES 2020 Modeling Frameworks haben. Die Resultate aus der Durchführung der Verfahren, wie z.B. die Ergebnisse des Echtzeitverhaltens, werden häufig einen deutlichen Bezug zu der Methodik für die Durchführung von Tätigkeiten innerhalb der Use Cases haben (vgl. [HK+12]).

#### **4.2 Kategorie „Werkzeugtechnische Unterstützung“**

In diese Kategorie fallen solche Forschungsfragen, die sich auf die werkzeugtechnische Unterstützung und Realisierung des durchgängigen Variantenmanagements und der systematischen Wiederverwendung beziehen. Drei Bereiche sind dabei von entscheidender Bedeutung, damit die anvisierten Effekte wie kurze Time-to-Market, hohe Produktqualität und marktgerechte Kosten ihr Potenzial entfalten, wobei sich im Detail folgende Fragestellungen ergeben: 1) Lassen sich stets dieselben Variantenmodellierungskonzepte durchgängig über sämtliche Phasen der Entwicklung hinweg in den eingesetzten Werkzeugen nutzen oder besteht hier ebenfalls Variationsbedarf? 2) Welches sind die geeignetsten Darstellungsformen von Variabilität, damit jene vom Entwickler gut erkennbar und verständlich ist und wie wird er bei der Modellierung und seiner jeweiligen Rolle am besten werkzeugseitig unterstützt? 3) Wie kann Durchgängigkeit in Bezug auf automatisierte Prozesse aussehen, wo z.B. ein Variantenmanagement Teil eines automatischen möglicherweise zyklischen Prozesses ist und selbst Einfluss auf diesen ausüben kann? 4) Welche Verfahren bzgl. Analyse und Überführung von „Alt“-Software in Richtung Wiederverwendung und Umwandlung in eine Produktlinie im Rahmen einer Reverse-Engineering existieren bzw. lassen sich effektiv und überdies sogar effizient realisieren? 5) Welche Verfahren existieren bzw. müssen entwickelt werden, um eine „optimale“ Variante entsprechend vorgegebener Eigenschaften in endlicher Zeit zu ermitteln, obwohl die Exploration des Variantenraumes ein NP-vollständiges Problem darstellt?

Hinsichtlich bestehender Werkzeuge gibt es zwar Lösung für kleine Teilbereiche bzw. prototypische Ansätze, jedoch sind die beschriebenen Fragestellungen bisher nicht be-

antwortet. Im Rahmen der Ausarbeitung sind im Speziellen die Fragen zur Durchgängigkeit und zur Unterstützung der User anzugehen, da diese die Akzeptanz des Variantenmanagements und der Wiederverwendung deutlich steigern.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurden die Anforderungen der Branchen Automatisierung, Automotive und Avionik und zugehörige Forschungsfragestellungen vorgestellt, die sich im Zuge einer Erweiterung des SPES 2020 Modeling Frameworks, speziell im Hinblick auf eine Unterstützung des durchgängigen Variantenmanagement und der Wiederverwendung, ergeben. Zukünftig werden nun die einzelnen Forschungsfragestellungen weiter spezialisiert und zugehörige Konzepte, Techniken, Methoden und Werkzeuge entwickelt, die sich bruchfrei integrieren und dann gemeinsam eine umfassende Unterstützung für das durchgängige Variantenmanagement und die Wiederverwendung im Engineering von softwareintensiven eingebetteten Systemen ermöglichen. Die entwickelten Lösungen werden in gemeinsamen Demonstratoren erprobt und ggf. zusätzlich innerhalb der Branchen anhand von Beispielen realer Komplexität hinsichtlich der Skalierbarkeit evaluiert.

## Literaturverzeichnis

- [AAF03] Alznauer, R.; Auer, K.; Fay, A.: Wiederverwendung von Automatisierungs-Informationen und -Lösungen. Automatisierungstechnische Praxis, Heft 3/2003.
- [Br+12] Broy, M.; Damm, W.; Henkler, S.; Pohl, K.; Vogelsang, A.; Weyer, T.: Introduction to the SPES Modeling Framework. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [DTW12] Daun, M.; Tenbergen, B.; Weyer, T.: Requirements Viewpoint. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [EMV12] Eder, S.; Mund, J.; Vogelsang, A.: Logical Viewpoint. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [HK+12] Hilbrich, R.; van Kampenhout, J.R.; Daun, M.; Weyer, T.; Sojer, D.: Modeling Quality Aspects: Real-Time. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [H+12] Höfig, K.; Trapp, M.; Zimmer, B.; Liggesmeyer, P.: Modeling Quality Aspects: Safety. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [IE00] IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software Intensive Systems. IEEE Standard 1471-2000, 2000.
- [IE11] ISO/IEC/IEEE Systems and Software Engineering – Architecture description. ISO/IEC/IEEE Standard 42010:2011, 2011.
- [V+12] Vogelsang, A.; Eder, S.; Feilkas, M.; Ratiu, D.: Functional Viewpoint. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.
- [W+12] Weber, R.; Reinkemeier, P.; Henkler, S.; Stierand, I.: Technical Viewpoint. In (Pohl, K.; Hönninger H.; Achatz, R.; Broy, M. Hrsg.): Model-Based Engineering of Embedded Systems, Springer, Berlin, 2012.